

文章编号:1671-8879(2006)06-0019-04

山区高速公路沥青路面的抗车辙能力

李明国^{1,2}, 牛晓霞², 申爱琴¹

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 广东华路交通科技有限公司, 广东 广州 510420)

摘 要:针对山区高速公路陡坡多、车辙严重的问题,分析了超载(包括轮压与汽车轴载等)对山区高速公路路面沥青混合料的影响以及长大纵坡对沥青路面抗车辙能力的影响。认为山区高速公路产生车辙的主要原因是长大纵坡导致了车辆低速行驶,车辆低速行驶对沥青混合料动稳定度的影响超过夏季高温和超载的影响。研究结果表明,减小坡度和控制坡长是提高路面抗车辙能力的有效方法。

关键词:道路工程; 山区高速公路; 沥青路面; 车辙

中图分类号:U416.217

文献标识码:A

Anti-rut ability of asphalt pavement on mountain freeway

LI Ming-guo^{1,2}, NIU Xiao-xia², SHEN Ai-qin¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Guangdong Hualu Communications Technology Co Ltd, Guangzhou 510420, Guangdong, China)

Abstract: The route vertical slope of mountain freeway is long and steep, and there are many overload and heavy load vehicles on it. The influences of the heavy load on the asphalt mixture of mountain expressway pavement, the long and steep slope on the rutting resistance of asphalt pavement are analyzed. It is found that the rutting in mountain expressway mainly results from the long and steep slope, the long and steep slope induces the low speed, the low speed of the automobiles has more important impact on the dynamic stability of hot mixture asphalt than the high temperature and heavy load. The results show that avoiding the long and steep slope during design is a good method to increase the anti-rut ability of asphalt pavement on mountain freeway.

1 tab, 2 figs, 7 refs.

Key words: road engineering; mountain freeway; asphalt pavement; rut

0 引 言

山区高速公路由于山区地形、地貌多变,工程地质背景复杂,给山区高速公路的选线带来许多困难;山区气候条件复杂多变,给高速公路的使用、行车安

全带来很大的影响。特别是山区高速公路由于受地形、地貌的影响,道路路线纵坡长且陡,这种长坡、陡坡路段多,使汽车行驶困难,速度下降,路面内部剪切应力加大,荷载作用时间延长;同时山区高速公路行驶的汽车也大多以超载车辆为主,这给山区高速

收稿日期:2005-10-15

基金项目:广东省交通科技项目(粤交科[2002]347号)

作者简介:李明国(1971-),男,湖南东安人,广东华路交通科技有限公司工程师,长安大学博士研究生。

公路沥青路面抗车辙能力提出了更高的要求。通常山区高速公路沥青路面出现的车辙一般呈现的特点为:陡坡路段的车辙相对较严重;陡坡的上坡一侧的车辙比下坡的要严重;超载车、重载车多的方向车辙严重^[1-3]。

本文主要分析山区高速公路的超载以及长、大纵坡对沥青路面抗车辙能力的影响,并给出设计施工建议。

1 超载对车辙动稳定度的影响

1.1 轮压对沥青混合料车辙动稳定度的影响

荷载对车辙的影响,国内外都作了大量的研究。日本建设省土木研究所对沥青混合料 60℃ 时的动稳定度和轮胎接地压强之间的关系进行过研究;中国“八五”科技攻关课题对此也进行了许多的试验^[4-5],其中 HXL 沥青 AC-16I 型沥青混合料的试验结果,在 60℃ 时的动稳定度和荷载关系式为

$$\lg D_{DS} = 3.4593 - 0.5746p \quad (1)$$

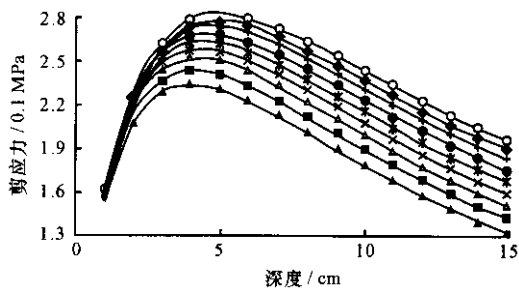
式中: p 为接地压强(MPa)。

从式(1)可以看出,一定温度条件下,车辙动稳定度与轮胎的接地压强呈对数关系变化。现行沥青路面设计标准轴载的标准轮压为 0.7 MPa,如果实际汽车荷载的轮压小于 0.7 MPa,则动稳定度急剧增大,产生车辙的影响就小得多;反之,如果汽车荷载的轮压大于 0.7 MPa,则动稳定度将急剧减小,产生车辙的影响就大得多。例如式(1),若荷载从 0.7 MPa 增加到 0.9 MPa,这时动稳定度将下降到 0.7 MPa 时的 77% 左右;若荷载从 0.7 MPa 增加到 1.0 MPa,这时动稳定度将下降到 0.7 MPa 时的 67% 左右;若荷载从 0.7 MPa 增加到 1.2 MPa,这时动稳定度将下降到 0.7 MPa 时的 50% 左右。

1.2 汽车轴载对剪应力及作用深度的影响

沥青路面的流动型车辙,主要是沥青混合料的高温抗剪能力不足造成的。随着荷载的增加,尤其是超载的影响,沥青混合料内部的剪应力将逐渐增加,剪应力的作用深度也将逐渐增加^[6]。根据相关资料报道,通常路面表层以下 5~10 cm 是产生车辙的主要区域。

根据交通部公路所的研究,不同轴重沥青面层内的剪应力分布曲线见图 1。剪应力计算采用的路面结构和参数为:15 cm 沥青混凝土面层,30 cm 水泥碎石基层,35 cm 水泥混凝土底基层,它们各自的回弹模量分别为 1 200 MPa、1 500 MPa、550 MPa。土基回弹模量为 40 MPa。采用拉应力计算第一种轮胎。



注:图中曲线自下而上相应的轴重分别为 100 kN、110 kN、120 kN、130 kN、140 kN、150 kN、160 kN、170 kN、180 kN。

图 1 不同轴重下 15 cm 面层中的剪应力分布曲线

从图 1 可以看出:

(1) 从面层表面开始往下,剪应力值由小到大增加很快,到某一深处达到峰值,然后剪应力值开始逐渐减小。峰值的深度位置随轴载增大而加深,在 100 kN 轴载下剪应力达到峰值 0.233 MPa 时的深度为 4 cm,在 180 kN 轴载下剪应力达到峰值 0.28 MPa 时的深度为 5 cm。

(2) 在面层表面以下 4 cm 范围内,轴载增大对剪应力值的影响较小。从表面 4 cm 以下轴载开始增大,对剪应力值产生的影响越来越大。15 cm 处 180 kN 轴载下产生的剪应力值比 100 kN 轴载下产生的剪应力约大 0.07 MPa。

(3) 达到相同剪应力(0.2 MPa)的作用深度随着荷载的增大而增加。在 100 kN 轴载下剪应力达到 0.2 MPa 以上的作用深度为 2~8 cm;在 150 kN 轴载下作用深度为 2~12 cm;在 180 kN 轴载下作用深度为 2~14 cm。

其实在高温状态下,沥青混凝土面层回弹模量不可能达到 1 200 MPa,一般只在 300 MPa 左右,因此在高温状态下剪应力比图 1 中的还要大。

所以在超载作用下沥青面层内的剪应力增大,产生的剪切变形及车辙也越严重;超载时剪应力作用深度也增大,产生剪切变形的深度范围也增大,出现车辙的深度范围也增大。

2 纵坡对沥青路面抗车辙能力的影响

随着纵坡的增大,由汽车荷载自重作用在沥青面层内部的剪应力分量增大,因此沥青面层内部剪应力随着纵坡的增大而增大,从而使沥青路面的抗车辙能力随着纵坡的增大而要求越来越高^[7]。特别是当大纵坡的坡长较长且连续出现时,对汽车车速的影响非常大。中国许多载重汽车的上坡能力很差,在长、大陡坡路段上车速迅速降低。对于沥青混合料这种粘弹性材料,汽车低速相当于增加了作用

时间或相当于使沥青混合料的作用温度增加了,从而使山区高速公路沥青路面对抗车辙能力的要求更为苛刻。

2.1 纵坡对剪应力的影响

图 2 为汽车行驶在纵坡为 $i\%$ 的路面上时的自重分解受力图。图中 G 为自重; N_2 为自重沿纵坡方向的剪应力分量; N_1 为自重沿垂直路面方向的压应力分量。

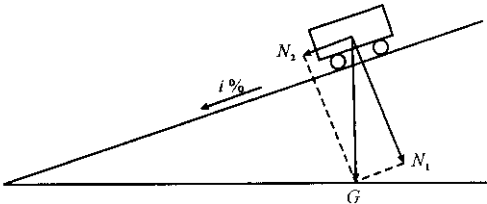


图 2 行驶在纵坡上的汽车自重分解受力图

标准载重汽车的自重作用于路面的压强为 0.7 MPa,在不同纵坡上坡时的剪应力分量见表 1。

表 1 纵坡与标准汽车自重引起的剪应力分量之间的关系

纵坡坡度/ $\%$	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
剪应力分量/MPa	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08

由表 1 可知,纵坡从 2% 增大到 5% 时,沥青路面内部的剪应力增加 0.03 MPa。上坡时自重的剪应力分量与驱动轮对路面的剪应力方向一致,使沥青路面受到的剪应力增加;而在下坡时自重的剪应力分量与驱动轮对路面的剪应力方向相反,使沥青路面受到的剪应力减少;这也正是为什么上坡的车辙比下坡的车辙严重的原因之一。若考虑路面横坡和超高,产生的最大剪应力还会更大。

根据图 1,当荷载从 100 kN 增加到 140 kN 时,路面内部的最大剪应力约增加 0.03 MPa。即纵坡从 2% 增大到 5% 时,相当于超载 40% 所对应的荷载对沥青路面车辙的影响程度,根据式(1),即相当于动稳定度下降约 30%。

2.2 纵坡对车速的影响

山区高速公路由于大部分都是重载货车,持续上坡,纵坡较大(最大 5.0%)时,虽然设计车速为 80 km/h 或 100 km/h,但路上实际车速远远达不到设计行驶速度。根据调查发现,山区高速公路主车道上坡路段运行的货车车速基本上是 10~20 km/h,超车道运行的货车大部分车速在 20~30 km/h,爬坡车道运行的货车车速基本在 15 km/h 以下。车速慢,则车辆对路面的作用时间长,沥青混合料具有粘弹性材料特性,根据时温等效原理相当于增加了路面的作用温度。

2.3 时温等效换算

根据 Williams-Landel-Ferry 公式

$$\lg t = \frac{-C_1(T-T_g)}{C_2+T+T_g}$$
 (2)

式中: T_g 玻璃化温度; C_1 、 C_2 为常数, $C_1=17.4$, $C_2=51.6$ 。

沥青混合料是由沥青相和集料固相共混而成的一种混合物,在热力学上是完全不相容的两相。根据共混物的 T_g 特点,由文献[3]知:如果两种均聚物热力学上完全互容,则共混物的性质几乎与相同组分的无规共聚物的 T_g 相同,即 T_g 介于两种均聚物的 T_g 之间。如果两种高聚物热力学上互不相容而其共混物呈现微观相分离状态,则每一相都有各自的 T_g 。通常,两种聚合物相容性越好, T_g 内移越大。对于沥青混合料的 T_g 近似于沥青材料的 T_g 。

由文献[4]知:许多学者对沥青的这个转化温度进行了深入研究,根据斯密特等人试验的 52 种沥青的研究结果,沥青的玻璃化温度 T_g 在 $-37^{\circ}\text{C} \sim -15^{\circ}\text{C}$ 之间,平均 -27°C 。沥青没有明显的融溶温度(沥青材料从很低到很高温度的全温度区域中,逐渐由玻璃态向弹性态、粘流态转化,显示出复杂的粘弹性质)。因此,本文取沥青 T_g 为 -27.0°C 。

设计最小车速取 80 km/h,实际车速 20 km/h,沥青路面总厚度为 0.16m,路面沥青混合料实际受力温度取 67.3°C , T_g 取 -27.0°C 。车速与作用时间换算公式为

$$\lg t = 0.5h - 0.2 - 0.91 \lg V$$
 (3)

式中: h 为沥青层厚度(m); V 为车速(km/h); t 为加载时间(s)。当车速为 80 km/h 时车轮对路面的作用时间 t_{80} 为 0.014 7 s,车速为 20 km/h 时车轮对路面的作用时间 t_{20} 为 0.051 2 s,即作用时间约为车速 80 km/h 时的 3.5 倍。

将问题转化为路面温度为 67.3°C 的条件下,车辆以 20 km/h 时行驶,即车轮对路面作用时间为 t_{20} 时,等效于车速为 80 km/h 正常车速行驶,即车轮对路面作用时间为 t_{80} 时,车辆对路面产生相同的塑性变形时路面沥青混合料的作用温度 T_{80} 的值。

将以上数据代入式(2),解方程得

$$T_{80} = \frac{C_2 K}{C_1 - K} + T_g$$
 (4)

其中, $K = \lg t_{20} - \lg t_{80} + \frac{C_1(T_{20} - T_g)}{C_2 + T_{20} - T_g}$ 。

经计算, T_{80} 为 81.4°C (若 $V=10$ km/h,则 T_{80} 为 89.5°C ;若 $V=30$ km/h,则 T_{80} 为 77.0°C)。即相当于增加作用温度 14.1°C 。可见,低车速相当于增

加的沥青路面作用温度是相当大的;车速为 10~30 km/h 时,相当于以 80 km/h 行驶时增加作用温度 22.2℃~9.7℃。根据式(2),相当于使沥青混合料的车辙动稳定度下降了 49%~79%。可见 10~30 km/h 的低车速,对车辙动稳定度的影响比夏季高温和超载的影响都要大。

3 结 语

(1) 汽车超载和长、大纵坡是山区高速公路产生车辙的主要原因。由长、大纵坡及超载等原因导致的车辆低速行驶,其对道路抗车辙能力的影响比夏季高温和超载都要大。

(2) 山区高速公路设计中应当提高路面的抗车辙能力,特别是路表面以下 12 cm 范围内的沥青面层的抗车辙能力。

(3) 公路设计时要避免长、大陡坡的连续出现,尽量减小坡度,控制坡长,不能仅满足于符合技术标准的纵坡要求。对于过长且陡的坡段,设计时可以改为隧道,以避免出现长、大纵坡。如果确因地形限制不得不采用长、大纵坡,而交通荷载又特别严重的路段应单独设计,并且限制车辆的超载运行。

参考文献:

References:

- [1] 谢水友,郑传超. 轮胎接触压力对沥青路面结构的影响[J]. 长安大学学报:自然科学版,2004,24(1): 12-16.
XIE Shui-you, ZHENG Chuan-chao. Effects of tire contact pressure on asphalt pavement structure[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(1): 12-16.
- [2] 舒 翔,孙圣杰,李国维. 山区高速公路路面病害分析及治理对策[J]. 公路,2005,(12):183-186.

SHU Xiang, SUN Sheng-jie, LI Guo-wei. Analysis and harnessing methods for pavement disease of expressways in mountain area[J]. Highway, 2005, (12): 183-186.

- [3] 苏 凯,武建民,陈忠达,等. 山区公路沥青路面基层滑移破坏研究[J]. 中国公路学报,2005,18(3):22-26.
SU Kai, WU Jian-min, CHEN Zhong-da, et al. Research on cutting-slippage between surface and base about mountain asphalt pavement[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(3): 22-26.
- [4] 张争奇,梁晓莉,李 平. 沥青老化性能评价方法[J]. 交通运输工程学报,2004,4(1):1-5.
ZHANG Zheng-qi, LIANG Xiao-li, LI Ping. Evaluation method of asphalt aging properties[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(1): 1-5.
- [5] 孟书涛,黄晓明,范要武,等. 沥青混合料动稳定度试验的分析[J]. 公路交通科技,2005,22(11):14-17.
MENG Shu-tao, HUANG Xiao-ming, FAN Yao-wu, et al. Analysis of dynamic stability test for HMA high temperature performance[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(11): 14-17.
- [6] 刘红瑛,戴经梁. 不同级配沥青混合料车辙性能的影响[J]. 长安大学学报:自然科学版,2004,24(5): 11-15.
LIU Hong-ying, DAI Jing-liang. Effect of different gradations on asphalt mixture resistance to rut[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(5): 11-15.
- [7] 和 勇,陈孔今. 山区高速公路建设中应注意的几个问题[J]. 铁道建筑,2005,(2):93-95.
HE Yong, CHEN Kong-jin. Problems of expressway in mountain area[J]. Railway Engineering, 2005, (2): 93-95.

《中国公路学报》2007 年征订通知

《中国公路学报》(双月刊)是中国公路学会主办的公路交通行业最权威的学术性刊物,主要刊载道路工程、桥隧工程、交通工程、筑路机械工程、汽车与汽车运用工程、公路运输经济与工程经济等专业应用技术及理论性文章,并适当报道有关公路交通的新技术、新材料、新工艺以及国内外重大学术活动、工程建设及科技动态信息等。《中国公路学报》网络版——中国公路网延伸了《中国公路学报》的信息传播功能,为读者提供全方位的公路交通信息服务。中国公路网的网址为:www. highway-china. com。

《中国公路学报》(大 16 开本)读者对象为:公路交通界的科研人员、工程技术人员、经济管理人员及大专院校的师生。《中国公路学报》每期定价 12.00 元,2007 年 6 期共 72.0 元。

另外,《中国公路学报》编辑部现有少量往年合订本,100.00 元/册。欢迎订阅!

收款单位:长安大学杂志社(西安市南二环路中段)
账 号:0104134-34148598091001

邮 编:710064 开 户 行:中行西安翠华路支行
联系人:高 炜 电 话:(029)82334387